



草地畜牧业的生态效益与经济效益协同

陈瑶瑶, 徐 亢, 刘 源, 郭凯文, 魏逸衡, 姜 璐, 石 岳, 余 露, 常锦峰

Synergy between ecological and economic benefits of grassland animal husbandry: Maduo County, Qinghai Province as an example

CHEN Yaoyao, XU Kang, LIU Yuan, GUO Kaiwen, WEI Yiheng, JIANG Lu, SHI Yue, YU Lu, and CHANG Jinfeng

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12357/cjea.20220853>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

东北旱作区农业生态系统协同发展与权衡分析

Synergies and trade-offs of agro-ecosystem in dry-farming areas in Northeast China

中国生态农业学报(中英文). 2018, 26(6): 892-902

花生与玉米和芝麻间作的产量及经济效益分析

Yield and economic benefits of peanut intercropping with maize and sesame

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(8): 1285-1295

中国畜牧业温室气体排放的脱钩与预测分析

Decoupling and predictive analysis of greenhouse gas emission from animal husbandry in China

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(5): 793-802

基于能值分析的蜜柚园生草模式生态经济效益评价

Evaluation of ecological and economic benefits of pomelo orchards with different grass growing systems based on emergy analysis

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(12): 1916-1924

中国畜牧业绿色全要素生产率演变及区域差异研究

Evolution of green total factor productivity and regional disparity in China's husbandry

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(4): 613-622

中国农畜牧业高分辨率氨排放清单

A high-resolution ammonia emission inventory for cropland and livestock production in China

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(12): 1973-1980



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12357/cjea.20220853

陈瑶瑶, 徐亢, 刘源, 郭凯文, 魏逸衡, 姜璐, 石岳, 余露, 常锦峰. 草地畜牧业的生态效益与经济效益协同——以青海省玛多县为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(7): 1001–1011

CHEN Y Y, XU K, LIU Y, GUO K W, WEI Y H, JIANG L, SHI Y, YU L, CHANG J F. Synergy between ecological and economic benefits of grassland animal husbandry: Maduo County, Qinghai Province as an example[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(7): 1001–1011

草地畜牧业的生态效益与经济效益协同* ——以青海省玛多县为例

陈瑶瑶¹, 徐亢^{2,1}, 刘源³, 郭凯文¹, 魏逸衡¹, 姜璐⁴, 石岳⁵, 余露^{3**},
常锦峰^{1**}

(1. 浙江大学环境与资源学院 杭州 310058; 2. 无锡学院环境工程学院 无锡 214105; 3. 浙江大学公共管理学院 杭州 310058; 4. 北京师范大学地理科学学部 北京 100080; 5. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室 北京 100093)

摘要: 青海省草地资源丰富, 但受人口增长、气候变化等因素的影响, 草地面临大规模退化。受传统、文化、生态等因素影响, 高寒牧区牲畜出栏时间普遍较晚, 这种传统的畜牧业生产经营模式导致草地超载, 进一步加剧了草地退化。为探寻兼顾经济效益与生态效益的畜牧方案, 本研究以青海省果洛藏族自治州玛多县为例, 基于实地调研收集的 2012—2021 年畜牧业统计数据与牧户信息, 根据 IPCC 提供的家畜能量需求计算方法估算发现, 玛多县近 10 年畜牧业生产消耗的牧草量为 44.30 万 t·a⁻¹, 与其草地生态承载力 37.76 万 t·a⁻¹ 相比超载 17.34%。其中, 由于牲畜出栏晚导致的牧草浪费达 13.69 万 t·a⁻¹, 占牧草消耗量的 30.90%。本研究进一步设置了“牲畜出栏量不变-提前出栏”和“牲畜存栏量不变-提前出栏”两种假设优化情景, 计算了不同优化情景下的牧草消耗量和肉产量。结果显示, 若提早牲畜出栏年龄, 可将玛多县平均草料转化率 (即每万吨牧草干物质可生产的肉产量) 较当前水平提高 23%~86%; 同时, 在不超过草地生态承载力的前提下, 肉产品增产潜力相比当前水平最高可达 58%, 可提高畜牧业产值 6226 万元。

关键词: 草地畜牧业; 草畜平衡; 生态保护; 经济效益; 协同发展

中图分类号: S8-9; F326.3

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Synergy between ecological and economic benefits of grassland animal husbandry: Maduo County, Qinghai Province as an example*

CHEN Yaoyao¹, XU Kang^{2,1}, LIU Yuan³, GUO Kaiwen¹, WEI Yiheng¹, JIANG Lu⁴, SHI Yue⁵, YU Lu^{3**},
CHANG Jinfeng^{1**}

(1. College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. School of Environmental Engineering,

* 中国科学院 A 类战略性先导科技专项项目 (XDA26010303, XDA26010301)、国家自然科学基金项目 (32222053, 72104213)、中央高校基本科研业务费专项资金和第二次青藏高原综合考察研究项目 (2019QZKK0606) 资助

** 通信作者: 余露, 主要研究方向为自然资源管理、资源经济与政策, E-mail: lu.yu@zju.edu.cn; 常锦峰, 主要研究方向为草地生态系统与全球变化, E-mail: changjf@zju.edu.cn

陈瑶瑶, 主要研究方向为草畜平衡模拟。E-mail: chenyaoyao0622@zju.edu.cn

收稿日期: 2022-11-03 接受日期: 2023-01-18

* This study was supported by the Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA26010303, XDA26010301), the National Natural Science Foundation of China (32222053, 72104213), the Fundamental Research Funds for the Central Universities of China and the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0606).

** Corresponding authors: YU Lu, E-mail: lu.yu@zju.edu.cn; CHANG Jinfeng, E-mail: changjf@zju.edu.cn

Received Nov. 3, 2022; accepted Jan. 18, 2023

Wuxi University, Wuxi 214105, China; 3. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100080, China; 5. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract: Human activities and climate change pose increasing threats to the sustainability of the vast grasslands of Qinghai Province. Delayed slaughtering of livestock is common in alpine pastures because of the traditions and culture of the local people and ecological constraints, such as low temperatures. This traditional livestock husbandry system has led to grassland overload and subsequent degradation. Therefore, there is an urgent need to explore an optimal strategy for the development of livestock husbandry that accounts for both economic and ecological benefits. Maduo County, Guoluo Tibetan Autonomous Prefecture, Qinghai Province, is considered an example. Combining the statistics from the period of 2012–2021, the behavior data collected from field interviews with herdsman, and the methodology in calculating energy and feed requirements from the IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, we derived an annual grass biomass consumption of $4.430 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ over the past ten years, with an overload rate of 17.34% compared to the carrying capacity of grassland ecosystem in Maduo County ($3.776 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$). From the grass biomass consumption (i.e., $1.369 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$), 30.90% was forage waste caused by the herdsman being “reluctant to sell” and delayed slaughtering. We further set up two optimal scenarios, “maintaining livestock slaughtering numbers at current level + accelerating slaughtering” and “maintaining livestock stocking numbers at current level + accelerating slaughtering”, to exploit the potential for increasing meat production. We found that if livestock were slaughtered or sold earlier, the production efficiency of animal husbandry in Maduo County could increase by 23%–86%. The potential to increase the yield of meat products could reach 58% with a livestock sector GDP increase of 62.26 million Yuan while grass forage consumption was still below the ecological carrying capacity. This study provides a pivotal case study that exploits potential ways to balance the ecological and economic benefits of alpine pasture systems.

Keywords: Pasture animal husbandry; Grass-livestock balance; Ecological conservation; Economic benefits; Synergetic development

草地生态系统(包括灌木和稀树草原)覆盖了全球陆地总面积的近40%、全球农业用地的69%^[1],是最重要的陆地生态系统之一,具有粮食生产、土壤保持、固碳释氧及涵养水源等重要的生态服务功能^[2-3]。研究表明,全球近一半的天然草地正在发生退化,而在生态敏感地区,这种退化尤为显著^[4]。当前我国青藏高原地区近90%的草原由于人类活动和气候变化等因素发生退化^[5-6]。天然草地放牧是草原的主要利用方式,但是由于寒冷、缺氧、植被生长季短、冬春季雪覆盖时间长等自然地理因素,高寒牧区牲畜生产周期长。同时,由于传统、文化、生态等因素的影响,当地牧民多数仍存有“惜杀惜售”的观念,导致当地牲畜畜群年龄结构不合理、出栏率低、商品经济落后,造成了天然草料的浪费,进而加剧了草原超载的发生^[7]。此外,由于气候环境恶劣以及经济条件的限制,大部分牧区缺少补饲的传统且暂时不具备补饲的条件,每年冬季近7个月的枯草期间,牲畜一直处于半饥饿状态,掉膘严重,甚至可能发生规模性死亡^[8],使得当地畜牧业的生产效率低下。

近年来,青海确立了以建设包括绿色有机农畜产品输出地在内的产业“四地”为方向的发展目标,为青海畜牧产业未来发展提供了根本遵循。天然草地畜牧业是青海有机农畜产品的重要组成部分,2020年青海畜牧业产值占全省农业总产值58.2%。然而,作为我国主要牧场之一,青海畜牧业仅占全国畜牧业

产值的0.73%^[9],当前的草业经营模式难以支撑起建设绿色有机农畜产品输出地的需求。因此,青海的天然草地畜牧业迫切需要转型优化。现有研究从农牧业政策、气候变化、自然条件、畜产品生产效率和视角,分析其对青藏高原地区农畜产品生产水平的影响^[5,10-11],并从家畜放牧组合、转变饲喂方式、集约化养殖、农牧结合、发展生态草牧业等角度提出了在高寒草地开展适应性治理的建议^[12-14]。此外,现有研究也显示,青海高寒牧区牧民大多保留了传统的畜牧经营方式,以粗放式经营为主^[15],牧民惜杀惜售导致畜牧养殖低出栏率与低商品率^[7,16]也是影响青海省畜牧产品输出地建设的重要因素。其中,对于畜牧生产经营方式的优化研究近年来引起较多关注,例如,一项根据数据包络分析法(DEA)模型分析的研究表明,牧户养殖数量为300~600只羊单位时,其规模养殖生产效率达到最高^[15]。徐田伟等^[17]提出通过开发均衡营养的补剂提高牲畜生长性能及饲草转化率,丰富文旅资源以延长产业链条等方式弥补传统生产经营方式的不足。但鲜有研究关注到牧民的心理与文化因素。在传统牧区,牲畜数量是一种家庭财富的象征,有时也被少数民族视作图腾加以崇拜^[18],因此牧民往往不愿将牲畜出栏,但目前对牧民惜杀惜售这一行为影响的相关研究较少,如何量化此因素对畜牧生产效率的影响尚未得到解决。

在中国科学院战略性先导科技专项和国家第二次青藏高原综合科学考察研究(简称“二次青藏科

考”)项目的支持下,我们在青海牧区开展了牧区畜牧业生产、草场利用、气候变化应对等系统调研。本研究以青海省果洛藏族自治州玛多县为案例,基于实地调研中收集的畜牧业统计数据与牧户信息:1)估算了玛多县2012—2021年平均家畜牧草消耗量、肉产量;2)量化牧区由于牧民“惜售”等原因,牲畜出栏时间推迟导致的浪费,探讨玛多县畜牧业生产效率现状,以及改善畜群结构和出栏方式情境下的发展潜力;3)结合卫星遥感草地净初级生产力产品计算可利用牧草量,提出在玛多县草地合理承载力以内,达到经济效益和生态效益双赢的畜牧业经营模式的优化路径。以期为高寒地区草地畜牧业可

持续发展、牧民生计增长、青海绿色有机农畜产品输出地建设与草原生态保护提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区玛多县介于 $33^{\circ}50' \sim 35^{\circ}40' \text{N}$, $96^{\circ}50' \sim 99^{\circ}20' \text{E}$,位于青海省果洛藏族自治州西北部,全县平均海拔4500 m以上,地形起伏不大,相对平坦(图1),属波状高原地区;玛多县一年之中无四季之分,只有冷暖之别,通常把冷暖两季分别称为冬季和夏季,冬季漫长而严寒,干燥多大风,夏季短促而温凉,多雨,属高寒草原气候^[19]。

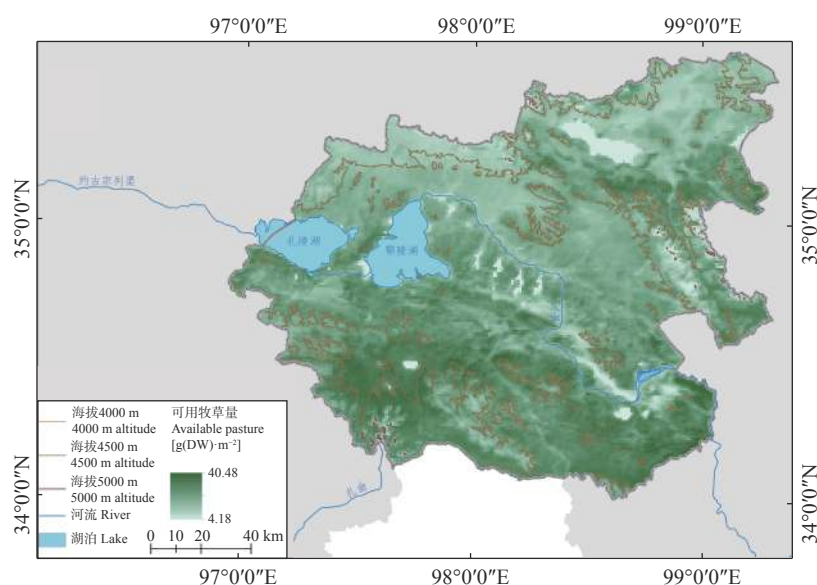


图1 玛多县地形概况与可利用牧草分布

Fig. 1 Topographic feature and available pasture of Maduo County

玛多县草地面积172.29万 hm^2 ,辽阔的天然草场为发展畜牧业生产提供了有利条件,境内的有机牛羊肉是高原天然无公害绿色食品,市场前景广阔。但由于缺乏合理使用和保护,玛多县草场退化严重,载畜能力降低。作为黄河源头的玛多县生态地位突出,是青藏高原的重要生态屏障。因此,必须对玛多县目前的畜牧业经营结构进行评估及优化,探寻一个兼顾经济效益与生态效益的方案。

1.2 玛多县草地生态承载量评估

玛多县满足生态可持续发展的可利用牧草量(即草地生态承载量)的计算公式^[20-21]为:

$$\text{DM}_{\text{grass}} = \frac{A \times \text{NPP} \times (1 - f_{\text{BNPP}}) \times \text{Use}}{0.45 \times 10^6} \quad (1)$$

式中: DM_{grass} 为生态可承载范围内可利用牧草量,以干物质量表示, $\text{t}(\text{DM}) \cdot \text{a}^{-1}$;A为草地可利用面积, m^2 ;

NPP为草地净初级生产力, $\text{g}(\text{C}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; f_{BNPP} 为牧草地下净初级生产力占总净初级生产力的比,数据来自Sun等^[22]基于207个同时测量的地上和地下NPP样点数据,采用机器学习方法构建的全球 f_{BNPP} 图,玛多县所在格点的 f_{BNPP} 均值为0.860;Use为草地牧草利用率,玛多县以高寒草甸为主,本研究中按照中国农业部颁布的行业标准《天然草地合理载畜量的计算》将其设为55%^[23];0.45为植物以碳形式植物生物量的转换系数^[21]; 10^6 代表质量单位克到吨的转换系数。

玛多县草地年净初级生产力(NPP)通过MOD17-A3HGF提供的500 m分辨率年NPP数据结合同一分辨率的土地利用数据计算得到。本研究采用MCD12Q1.006提供的土地覆被类型(Land Cover Type)数据(500 m空间分辨率),根据国际地圈生物圈计划(IGBP)分类方法逐年提取玛多县的草地(Grassland)

格点进行后续平均归一化植被指数 (NDVI) 和 NPP 的计算。

本研究采用 2005—2021 年的 MODIS 遥感产品 MOD09GA 中提供的 500 m 空间分辨率、1 d 时间分辨率的 NDVI 数据产品结合土地覆被数据, 计算了玛多县草地平均月 NDVI, 由 NDVI 季节波动判断牧草生长季 (具体见 2.1 节)。

1.3 不同情景牲畜草料需求计算

1.3.1 情景设置

根据在玛多县政府与牧户访谈信息, 玛多县牧户饲养的主要牲畜品种为牦牛和藏系绵羊, 其中, 公牛主要集中在 5~6 岁出栏, 母牛 8~9 岁出栏, 公羊 4~5 岁出栏, 母羊 5~6 岁出栏 (此处的公畜是指作为商品牛/羊出售的公牛与公羊, 不包含种畜)。因此本研究共设置了 1 个现实情景和 2 个假设情景, 分别计算这些情景下的草料需求 (dry matter intake, 缩写为 DMI), 以探寻当地天然草地畜牧业生态效益、经济效益的优化路径:

1) 现实情景: 根据玛多县 2012—2021 年 10 年的统计数据推算的当前实际年龄结构, 其中公牛 5~6 岁出栏, 公羊 4~5 岁出栏, 母牛 8~9 岁出栏, 母羊 5~6 岁出栏。

2) 假设情景: 由于牧区的传统, 牧民往往将牛羊视为一种资产, 同时牧民也将饲养的牲畜看作一种生计保障方式, 以应对天气灾害带来的牲畜死亡给家庭生计带来的潜在冲击。出于对牧民固有资产期望的考虑, 本研究假设一个存栏量稳定的情景; 出栏量是与产量粗略相关的指标, 一定程度上与牧民对收入的期望挂钩, 因此本研究的第 2 个假设情景为出栏量稳定的情景。通过实地调研收集到牲畜分龄体重数据以及计算得到的消化能消耗, 可以比较牧草消耗速率与体重增长速率, 由此得出牦牛 3 岁、藏系绵羊 2 岁时出栏饲喂效率最高 (具体说明见 1.3.3 节)。

假设情景 1: 出栏量不变-提前出栏, 以近 10 年平均出栏量为基准, 假设出栏量恒定的情况下, 公牛出栏年龄提前至 3 岁, 公羊出栏年龄提前至 2 岁, 母羊出栏时间调整至 4~6 岁。

假设情景 2: 存栏量不变-提前出栏, 以近 10 年平均存栏量为基准, 假设公牛出栏年龄提前至 3 岁, 公羊出栏年龄提前至 2 岁, 母羊出栏时间调整至 4~6 岁, 同时存栏量仍保持恒定。

1.3.2 草料需求及浪费计算

草料需求 (DMI) 以分龄单体牲畜的草料需求和分龄单体牲畜群数量乘积之和来计算, 在全县性分别为 g 的 i 类牲畜 (即牦牛或藏系绵羊) y 年草料需求量 $DMI_{g,i,y}$, 计算公式如下:

$$DMI_{i,j,k} = \frac{ME_{i,j,k}}{11.18} \quad (2)$$

$$DMI_{g,i,y} = \sum_{j=1}^{d+1} (ST_{g,i,j,y} \times \sum_{k=1}^{365} DMI_{i,j,k}) - \sum_{j=d}^{d+1} (SL_{g,i,j,y} \times \sum_{k=274}^{365} DMI_{i,j,k}) \quad (3)$$

$$DMI_{waste,i,y} = \sum_{j=w}^{d+1} (ST_{male,i,j,y} \times \sum_{k=1}^{365} DMI_{i,j,k}) - \sum_{j=d}^{d+1} (SL_{male,i,j,y} \times \sum_{k=274}^{365} DMI_{i,j,k}) \quad (4)$$

式中: $DMI_{i,j,k}$ 为 i 种牲畜单体 j 岁 k 天的牧草消耗量 (区分公母), kg; $ME_{i,j,k}$ 为 i 种牲畜 j 岁 k 天的消化能 (metabolisable energy) 消耗, $MJ \cdot d^{-1}$, 具体计算见 1.3.3 节; 11.18 为天然牧草消化能, $MJ \cdot kg^{-1}$, 本文采用青海典型高山嵩草的天然牧草消化能^[24]; $DMI_{g,i,y}$ 代表性别为 g 的 i 种牲畜 y 年牧草消耗量, kg; $DMI_{waste,i,y}$ 为 i 种牲畜 y 年浪费的牧草量, kg; $ST_{g,i,j,y}$ 代表性别为 g 、 j 岁的 i 种牲畜 y 年内存栏量, 头; d 为牲畜开始出栏的年龄, 对于玛多县, 公牛 $d=6$, 母牛 $d=8$, 公羊 $d=3$, 母羊 $d=5$; w 为本研究界定 w 岁后未出栏的公畜造成牧草消耗的浪费, 在实际情景中, 3 岁以上公牦牛、2 岁以上藏系绵羊消耗的草料定义为浪费 (具体说明见 1.3.3 节); 274 代表本研究中根据实地访谈信息假设的出栏日 (即 9 月 30 日) 后的第一天, 是一年中的第 274 天, 第 274—365 天当年出栏的牲畜不再产生能量消耗, 需将此部分进行扣除。

DMI 计算是以单体牲畜能量需求和畜群年龄结构为基础的, 而牲畜能量需求的计算与牲畜的体重及其变化密切相关。因此, 在以下部分中, 我们分别在 1.3.3 节描述了牲畜能量需求计算, 1.3.4 节描述了畜群日体重变化, 畜群年龄结构推算方法见电子版附件。

1.3.3 牲畜能量消耗计算

本研究选取玛多县的主要家畜类型——牦牛和藏系绵羊作为测算对象, 采用《〈2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南〉2019 年改进版》(下简称 IPCC 指南) 提供的估算方法计算家畜能量需求^[25]。具体计算公式如下:

$$DE_{i,j,k} = \frac{NE_{maint,i,j,k} + NE_{a,i,j,k} + NE_{l,i,j,k} + NE_{work,i,j,k} + NE_{p,i,j,k}}{REM} + \frac{NE_{g,i,j,k} + NE_{wool,i,j,k}}{REG} \quad (5)$$

式中: $DE_{i,j,k}$ 为 i 种牲畜 j 岁 k 天的总消化能 (digestable energy) 消耗, MJ; NE 为净能量消耗, $NE_{\text{maint},i,j,k}$ 、 $NE_{a,i,j,k}$ 、 $NE_{l,i,j,k}$ 、 $NE_{\text{work},i,j,k}$ 、 $NE_{p,i,j,k}$ 、 $NE_{g,i,j,k}$ 、 $NE_{\text{wool},i,j,k}$ 为 i 种牲畜 j 岁 k 天分别用于维持体重、活动、泌乳、劳役、妊娠、生长以及生产羊毛的净能量, $\text{MJ}\cdot\text{d}^{-1}$; REM 为摄入的可消化能转化为维持生命活动所需能量的效率, 无量纲; REG 为摄入的可消化能转化为生长所需能量的效率, 无量纲; NE 、 REM 、 REG 的具体计算方式见电子版附件。考虑到玛多县海拔高气温低, 牲畜能量消耗比一般情况高, 因此本研究采用 IPCC 指南中的方法对每日净能量消耗的系数根据当日气温进行了折算;

同时, 考虑到当地牲畜冬季饲草不足, 牲畜用夏秋季节储存在体内的脂肪进行供能, 掉膘明显, 因此本研究在计算能量和牧草需求时考虑了这部分掉膘对牲畜能量需求的影响, 具体计算方式见电子版附件。

根据本节计算得到的消化能与体重的关系, 可找出生产效率最高的年龄。如图 2 所示, 两种主要的牲畜均是越早出栏生产效率越高, 但考虑种群延续, 公牛、公羊出栏时间不宜早于 3 岁、2 岁。因此, 本研究认为, 公牛 3 岁出栏、公羊 2 岁出栏能够达到最高的生产效率, 迟于此年龄出栏导致增加的牧草消耗, 均可定义为浪费。

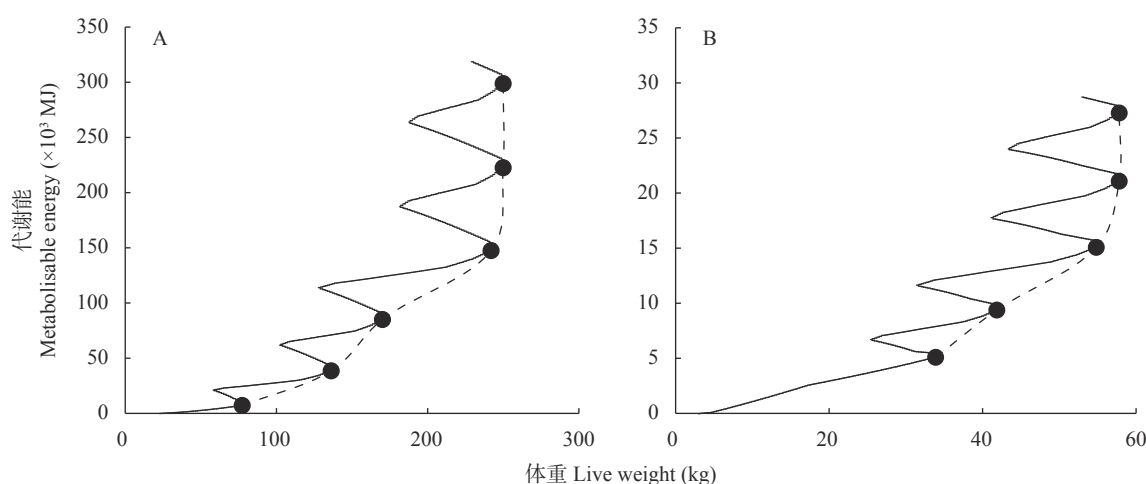


图 2 玛多县典型牲畜牦牛 (A) 和藏系绵羊 (B) 消化能随体重的变化

Fig. 2 Change in digestible energy of typical livestock yak (A) and Tibetan sheep (B) with live weight in Maduo County

虚线端点表示每个生长季结束、牲畜出栏时的体重及累积消耗的消化能, 虚线的斜率越小代表当年生产效率越高, 端点与零点连线的斜率越小代表累积生产效率越高。Dashed endpoints show the live weight and cumulative digestible energy consumed at the end of each growing season and at the time of slaughter of livestock. The smaller the slope of the dashed line represents the higher production efficiency of the year, and the smaller the slope of the line connecting the endpoints and the zero point represents the higher cumulative production efficiency.

1.3.4 日体重变化

根据玛多县 2012—2021 年的 NDVI 年内波动可知, 5—9 月为牧草生长期, 因此, 本研究将牲畜的生长期定义为 5—9 月。其中: 5—6 月为牲畜的体况恢复期, 牲畜采食牧草主要是用于恢复冬春季的掉膘; 7—9 月为牲畜的抓膘、保膘期, 牲畜持续增重; 10 月及以后为牲畜的掉膘期。成年牲畜在体况恢复期结束后, 体重达到 MW_i , 不再继续增长^[26]。模拟的牲畜日体重变化曲线如图 3 所示。

2 结果与分析

2.1 玛多县草地生产力现状

根据 MODIS NPP 遥感产品结合土地覆被类型的计算结果 (图 1), 2012—2021 年的玛多县平均

NPP 为 $(128.1 \pm 14.7) \text{ g(C)} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 平均海拔超过 4500 m 的玛多县地上部年均积累生物量为 $(39.9 \pm 4.6) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (干物质质量), 略低于 Chen 等^[27] 在三江源地区海拔 3876 m 处测得的地上部生物量 $60.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 与 Sun 等^[28] 发布的全球草地 NPP 数据集显示海拔在 4400~4600 m 的青藏高原邻近区域的地上部年积累生物量 $[(43.7 \pm 36.3) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}]$ 较为符合。根据第三次全国国土调查, 玛多县草地面积 172.29 万 hm^2 , 地上部牧草量为 68.65 万 t (干物质质量)。按照 2015 年农业部发布的农业标准《天然草地合理载畜量的计算》中 55% 牧草利用率, 根据式 (1), 玛多县草地的生态承载量为平均每年 37.76 万 t。调研显示玛多县以天然草地放牧为主, 极少出现补饲的现象, 因此牲畜的体重变化高度依赖天然牧草的长势。根据图 4 可知 5—10 月

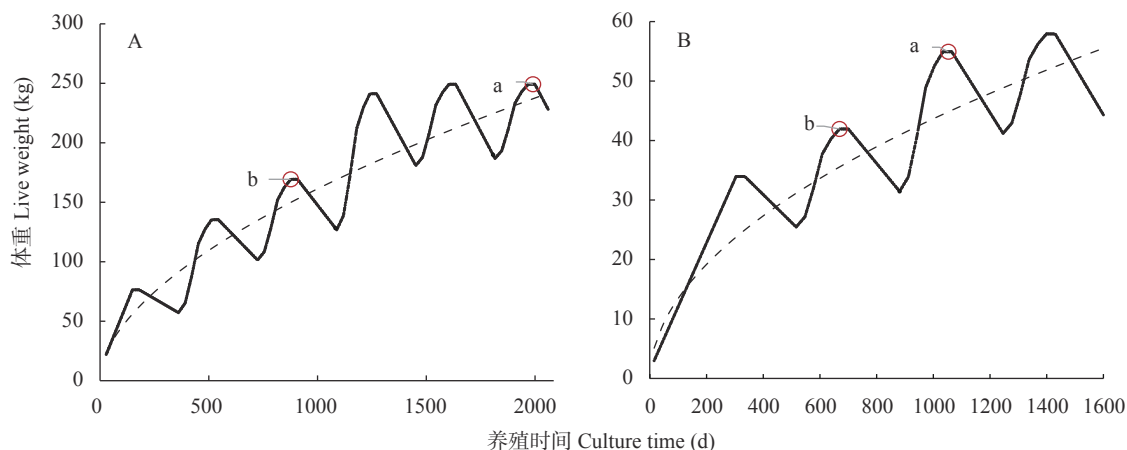


图 3 玛多县典型牲畜公牦牛 (A) 和公藏系绵羊 (B) 日体重变化曲线

Fig. 3 Daily live weight curves of typical livestock male yak (A) and male Tibetan sheep (B) in Maduo County

点 a 为现实情景出栏, 点 b 为情景 1、2 出栏。Point a shows slaughtering under reality scenario; Point b shows slaughtering under scenario 1 and 2.

为玛多县牧草生长期, 牲畜的体重增长集中在这段时期。而冷季 (11 月到来年 4 月) 草地生产力低, 饲草匮乏, 且受雪灾等天气的影响, 因此牲畜普遍出现掉膘减重。

2.2 玛多县畜牧业现状

根据当地牦牛、藏系绵羊分龄体重数据以及当地牧民估算的奶产量数据, 计算得到玛多县各年龄段牛羊每年消耗的能量如表 1、表 2 所示, 牛羊的消化能消耗均逐年升高。根据玛多县目前的畜牧业养殖结构和牧草营养价值, 玛多县近 10 年平均每年需消耗约 44.30 万 t 牧草, 结合上述计算的生态承载量 37.76 万 t 牧草, 超载 17.34%。

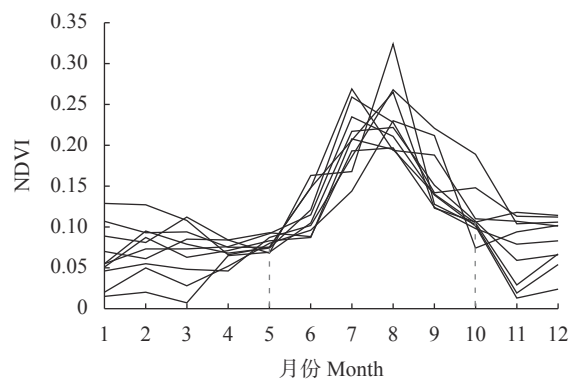


图 4 玛多县 2012—2021 年逐年归一化植被指数 (NDVI) 月波动

Fig. 4 Monthly variations of normalized differential vegetation index (NDVI) of Maduo County from 2012 to 2021

表 1 玛多县不同类型不同年龄牦牛的消化能消耗

Table 1 Digestible energy consumption of different types of yaks in different ages in Maduo County
 $\times 10^3 \text{ MJ} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$

类型 Type	年龄 Age					
	1	2	3	4	5	≥ 6
公牛不出栏 Bull-not-slaughtered	14.38	35.86	48.98	67.71	75.48	76.09
公牛出栏 Bull-slaughtered			37.66	52.01	59.29	59.90
母牛非哺乳 Cow-no-lactation	12.10	30.93	47.16	53.51	54.72	54.85
母牛哺乳 Cow-lactation			49.35	58.99	58.94	60.41
母牛出栏 Cow-slaughtered						43.23

表 2 玛多县不同类型不同年龄藏系绵羊的消化能消耗

Table 2 Digestible energy consumption of different types of Tibetan sheep in different ages in Maduo County
 $\times 10^3 \text{ MJ} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{head}^{-1}$

类型 Type	年龄 Age				
	1	2	3	4	≥ 5
公羊不出栏 Ram-not-slaughtered	5.66	4.77	5.87	6.21	6.23
公羊出栏 Ram-slaughtered		3.99	4.96	5.11	5.09
母羊非哺乳 Ewe-no-lactation	4.37	4.58	4.99	5.77	5.22
母羊哺乳 Ewe-lactation		4.74	5.55	6.62	6.08
母羊出栏 Ewe-slaughtered				4.83	4.25

2.3 现实情景下玛多县畜牧业浪费情况

本研究量化了由于牧民“惜售”等原因, 牲畜出栏时间推迟而导致的牧草浪费。玛多县当前的牧草消耗情况如图 5 所示, 牧草总浪费量达 13.69 万 t, 浪费比例为牧草总消耗量的 30.90%; 其中, 牛和羊晚出栏造成的牧草浪费分别为 12.33 万 t 和 1.35 万 t 干物质质量, 分别占当前牦牛和藏系绵羊牧草总消耗的

32.27% 和 22.27%。但若仅考虑公畜, 公牛养殖的草料浪费比例为 72.74%, 而公羊为 50.77%, 公畜草料浪费比例均大于实际所需的牧草比例。而其中, 公牛的养殖牧草浪费率高于公羊, 公牛养殖效率有更大的提升空间。因此, 畜牧业经营模式的改变, 特别是牲畜出栏时间的优化将有助于缓解天然草地放牧对草场退化的压力, 促进当地的草地生态保护。

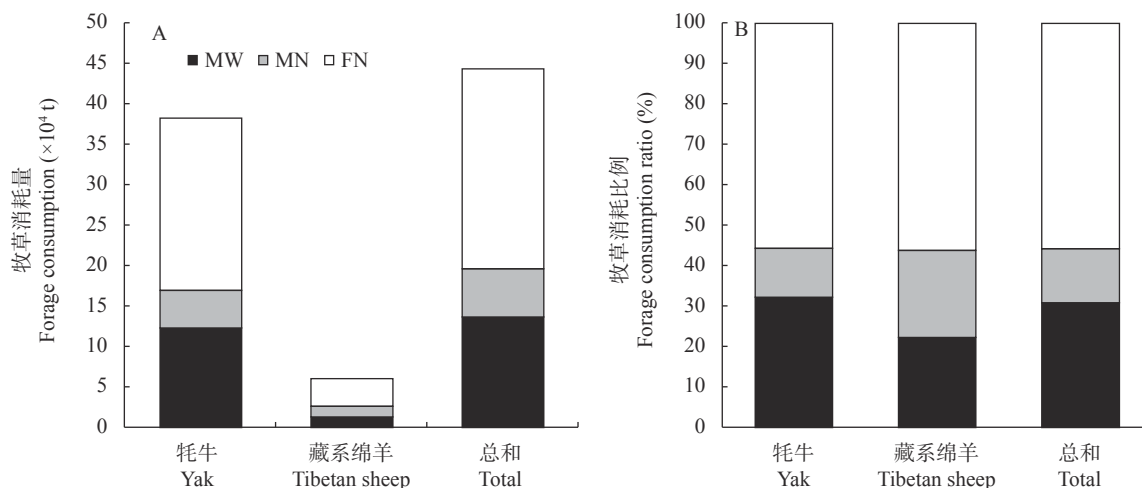


图 5 现实情景下玛多县牧草消耗量 (A) 和牧草消耗比例 (B)

Fig. 5 Forage consumption (A) and forage consumption ratio (B) of Maduo County in reality

MW: 公畜浪费牧草; MN: 公畜非浪费牧草消耗; FN: 母畜非浪费牧草消耗。MW: waste of forage consumption by male animals; MN: non-wasteful pasture consumption by male animals; FN: non-wasteful pasture consumption by female animals.

2.4 不同假设情景下畜牧养殖肉类生产效率比较

2.4.1 不同情景畜牧业生产效率比较

不同情景下玛多县畜牧业生产牧草消耗量及肉产量如图 6 所示, 现实情景的肉产量是最大的, 为 1741.99 t, 分别比情景 1、2 多 262.46 t、230.84 t。然而, 现实情景的牧草消耗量也是最大的, 为 44.30 万 t, 分别比情景 1、2 多 13.74 万 t、23.62 万 t。

若保持两种假设情景的畜牧养殖结构不变, 扩

大养殖规模, 将畜牧业肉产量与近 10 年平均水平 (即现实情景的水平) 保持一致, 则相应的牧草消耗量如图 7 所示, 两种假设情景的生产效率均比现实情景高。情景 1, 即出栏量不变情景, 在满足牧民心理收入预期的基础上, 平均每万吨牧草可以生产 33.43 t 牦牛肉或 147.04 t 藏系绵羊肉; 情景 2, 即存栏量不变情景, 在满足牧民心理存栏预期的基础上, 平均每万吨牧草可以生产 56.22 t 牦牛肉或 132.84 t 藏系绵羊

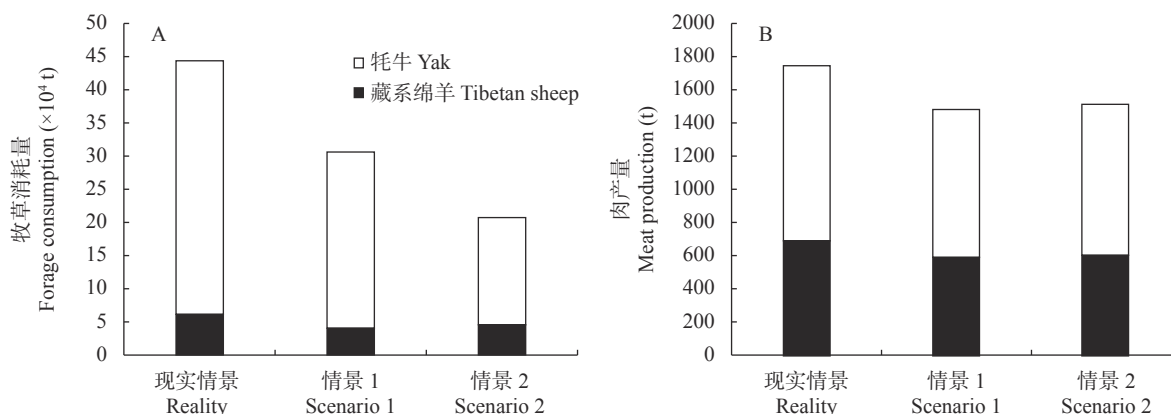


图 6 不同情景玛多县畜牧业生产状况 [牧草消耗量 (A) 和肉产量 (B)]

Fig. 6 Forage consumption (A) and meat production (B) of livestock production under different scenarios for Maduo County

肉。情景 1 和情景 2 的肉类总体生产效率分别为现实情景的 1.23 倍和 1.86 倍,但是,情景 1 的羊肉生产效率更高。因此,若按照出栏不变假设(情景 1)进行藏系绵羊的养殖、按照存栏不变假设(情景 2)进行牦牛的养殖,总体生产效率可达到更高的水平,仅需消耗现实情景 52.78% 的牧草(图 7)即可生产出等量的牛羊肉。

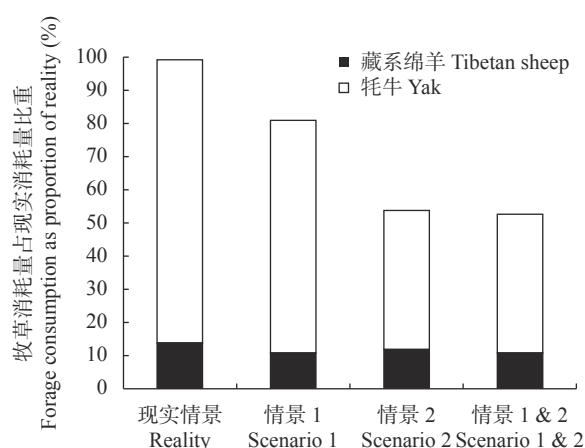


图 7 不同情景玛多县畜牧业生产效率比较

Fig. 7 Comparison of livestock production efficiency under different scenarios for Maduo County

2.4.2 草畜平衡下最高肉产量预测

根据本研究计算的草地生态承载量和实际年均牧草消耗量,玛多县目前的畜牧业超载 17.34%。然而,如果能够提前出栏,在本文的 2 个提前出栏假设情景下,即使将养殖规模扩大至现实情景下的年均肉产量 1741.99 t(根据出栏量及出栏体重相应计算得到),所消耗的牧草量均小于该县的草地合理承载量(图 6)。因此,考虑到充分合理利用草地资源,进一步计算了在草畜平衡情形下(即年消耗牧草在草地承载力 37.76 万 t 范围内),保持现实情景(当前的年龄结构和出栏年龄)与 2 个提前出栏假设情景下牲畜的年龄结构,通过调整养殖规模可达到的肉产量潜力。在草畜平衡情形下的肉产量潜力如图 8 所示。按当前实际牲畜年龄结构,肉产量仅能达到 1484.61 t;而如果采用提前出栏假设情景下牲畜的年龄结构,情景 2 潜在肉产量最高可达 2758.20 t,其中牦牛肉 1656.57 t、藏系绵羊肉 1101.63 t,按 2021 年青海省畜产品平均价格计算,通过出栏结构与时间的调整,可带来近 6226 万元畜牧业经济收益增长;情景 1 模式下,潜在肉产量为 1827.65 t(牦牛肉 1095.91 t、藏系绵羊肉 731.73 t),可增加 526 万元的经济收益。

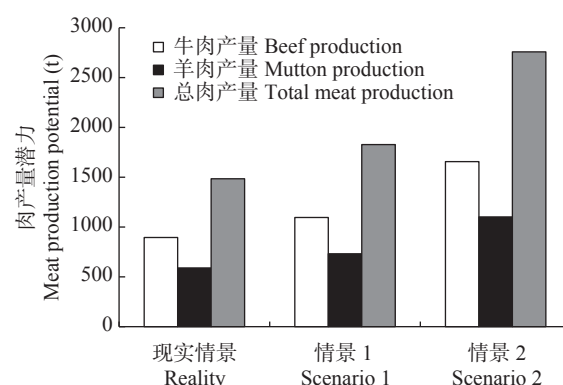


图 8 不同情景年龄结构玛多县畜牧业生产潜力

Fig. 8 Livestock production potential under scenarios with different age structures for Maduo County

生产潜力指保持 3 种情景的年龄结构不变、调整其养殖规模,在不超过草地承载力前提下所能达到的最大肉产量。The production potential refers to the maximum meat production that can be achieved by keeping the age structure of the three scenarios unchanged and adjusting their breeding scale without exceeding the carrying capacity of the grassland.

3 讨论与结论

青海地理优势得天独厚,享有天然草地面积 0.42 亿 hm^2 ^[29],是我国四大牧区之一,但是受人口增长、气候变化等因素影响,加之超载过牧等行为,草场退化日益严重,不利于当地的生态保护与畜牧业健康发展^[30]。2020 年青海畜牧业产量为 36.70 万 t,产值 295.1 亿元^[31],但畜牧业贡献仅占全国畜牧业产值的 0.73%^[9],这种资源禀赋与畜牧业产出间的“背道而驰”有其天然的因素:高寒牧区牧草的生长季短,冷季草地生产力低,冬季牲畜体重增长消耗的能量更多,达到胴体重需要更长时间;干旱与雪灾成为制约牲畜出栏的主要因素^[32],且实地调研中发现,高原缺氧也进一步增加了牲畜体重增长所需的时间。然而青海高寒畜牧业的出栏率也与其生产模式有极大关系。传统的牧业经营模式下,牧户多有“惜售”的观念,导致牲畜出栏时间晚、出栏率低^[17]、出栏品质低^[33],难以充分发挥天然草原、绿色有机农畜产品的优势,带动畜牧业稳步增收。

本研究基于实地调研数据,设定了 2 个可能的优化路径,在充分考虑当地牧民畜产品产量需求和心理存栏期望的基础上,通过情景模拟,探寻最优的畜牧业经营模式。研究结果显示,两个情景(情景 1:出栏量不变;情景 2:存栏量不变)下,通过适当提早家畜的出栏时间均能够在有效节约草地资源利用、加快生态恢复的基础上达到甚至超过当前的产量。通过出栏时间的优化,畜牧业生产效率(即草料转化率,以每万吨牧草干物质可生产的肉产量衡量)在情景

1 和情景 2 的情况下可分别增长 23% 和 86%; 生产现实情景的等量牛羊肉的情况下, 最高可节约近 47% 的天然草料 (图 7)。在保证草畜平衡, 即牧草消耗量不高于草地生态承载力 (即 37.76 t) 的情况下, 通过适当提早家畜的出栏时间, 肉产量潜力仍可分别达到 1827.65 t (情景 1: 出栏量不变) 和 2758.20 t (情景 2: 存栏量不变), 较当前产量 (1741.99 t) 分别增长近 6% 和 58%, 分别可带来 526 万元和 6226 万元的畜牧业产值提升。考虑到由于经营模式优化可能带来的畜产品质量提升, 以及牧畜产业规模化带来的成本降低, 产值增长可能更进一步攀升。

此外, 玛多县当地传统的“惜售”观念与畜牧经营模式, 不仅难以支撑起建设绿色有机农畜产品输出地的政策需求, 也会造成大量的饲草浪费和草地超载, 破坏草原的生态功能。根据前文计算的生态承载力, 玛多县当前超载 17.34%, 且平均每年 30.90% 的牧草消耗是由于牧民“惜售”晚出栏造成的浪费。尤其是春秋两季, 由于天然草场大多远离牧民定居点, 家畜放牧的范围、距离较远, 转场会加剧牲畜能量消耗, 导致饲草大量浪费。玛多县既是优势生态资源富集地, 又肩负着国家生态安全屏障、落实三江源生态保护综合治理二期、退牧还草生态修复等重大草原生态修复工程的重任^[34], 如何在保护天然草原的同时, 破除生产规模的掣肘, 是建设绿色有机农畜产品输出地、推动高质量发展的关键, 也是当下迫切需要解决的问题。

因此, 当下急需优化牧业经营模式, 转变牧民传统的“惜售”的经营理念, 科学设定牲畜出栏时间, 从而在有限的草原条件下, 增加出栏量, 扩大生产规模, 建立起稳定的输出渠道。考虑到依赖于天然放牧业的家庭饲养条件单一、饲养模式粗放, 应适当转变经营模式, 充分利用家庭牧场、扶贫合作社等抓手, 整合牧区的固定资产、草地、牲畜、研发创新与政策资源, 投入并推广畜种培育、饲养管理等改良技术, 以提高饲草消化效率, 创新经营模式也将在畜产品精深加工及销售渠道方面的拓展有所裨益。而本研究仅仅考虑了牲畜出栏时间的影响, 其他方式对畜产品产量与效益仍有一定的提升空间, 值得后续探讨研究。

其次, 本研究仅考虑了公畜推迟出栏导致的浪费, 而未将高龄母畜迟迟不出栏的牧草消耗定义为浪费。一方面, 母畜的产仔率会随着年龄的增加而降低^[35]; 另一方面, 母畜的产奶量和产奶品质也会逐年降低^[36]。但是目前的数据主要针对工业化养殖的

奶牛和肉牛, 缺乏有关自然放牧的研究。因此, 若有进一步的调研数据或试验数据支撑, 可以对不同年龄母畜的生殖效率和产奶效率进行量化, 借鉴公畜核算标准, 模拟出最高的生殖年龄及出栏年龄。可以预见的是, 玛多县畜牧业仍有很大的生态节约潜力和经济效益潜力有待挖掘。

此外, 高寒牧区冷季漫长, 期间草地生产力难以满足牲畜的营养需求, 自 20 世纪 60 年代以来, 草业科技工作者在青藏高原采集优良天然草地牧草种质资源, 并引进国外优良牧草种质资源, 选育适应青藏高原独特地理位置和气候条件的牧草新品种, 并初步应用于三江源生态环境治理中, 但其研究利用的水平仍较为落后^[37], 未能改变当下草地生产力低的局面。同时, 高原缺氧等因素也进一步恶化了牲畜的生长环境。夏季干旱叠加冬季雪灾, 可能导致牲畜大量死亡 [据实地调研, 2008 年雪灾玛多县共死亡各类牲畜 35 855 头 (只、匹)], 而牧民没有长期补饲的传统。现有研究发现, 高寒草原地区推行冷季舍饲或牧归补饲以有效缓解冷季牲畜掉膘甚至死亡的恶性循环, 是高寒牧区应对极端气候的必要措施^[38-39]。极端的气候变化也对进一步完善防灾政策动态调控体系, 加强饲草料储备, 提升饲草空间调配能力, 健全配套的棚圈、水利、机械化等基础设施建设提出了更高的要求。而玛多县公路交通较为便利, 共玉高速、214 国道为主干线的公路四通八达, 为补饲及异地育肥提供了可能。未来的研究可以进一步量化补饲对于能量需求、肉奶产量以及肉奶品质的影响, 从投入产出的角度来进一步探索补饲的生态和经济效益。

最后, 本研究以玛多县为例, 研究高寒草原的生态与经济效益, 可以为青藏高原高海拔、生态脆弱、气候敏感区的草地畜牧业经营模式优化提供实践参考。然而青海地区草地类型丰富、畜牧业传统不同, 经营方式差异显著。例如位于中腹部的中海拔地区干旱、多风, 有“夏放高山, 秋放川, 冬季防灾山窝里, 春放围栏或走圈”的畜牧经营传统, 冬春季草场退化严重, 牲畜普遍晚熟、生长周期长^[40]; 而东部青藏高原和黄土高原过渡地带, 海拔较低, 地形复杂, 土地利用类型为农牧交错区, 以舍饲与放牧相结合的粗放型畜牧业为主^[41]。因此, 未来有必要针对不同海拔地区开展调研与具体分析, 为青海地区乃至整个青藏高原的畜牧业经营模式优化与草畜平衡政策提供科学依据。

参考文献 References

- [1] BARDGETT R D, BULLOCK J M, LAVOREL S, et al. Combatting global grassland degradation[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2021, 2(10): 720–735
- [2] 刘洋洋, 任涵玉, 周荣磊, 等. 中国草地生态系统服务价值估算及其动态分析[J]. *草地学报*, 2021, 29(7): 1522–1532
LIU Y Y, REN H Y, ZHOU R L, et al. Estimation and dynamic analysis of the service value of grassland ecosystem in China[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2021, 29(7): 1522–1532
- [3] BENGTSSON J, BULLOCK J M, EGOH B, et al. Grasslands — more important for ecosystem services than you might think[J]. *Ecosphere*, 2019, 10(2): e02582
- [4] 郭兵, 孔维华, 姜琳, 等. 青藏高原高寒生态区生态系统脆弱性时空变化及驱动机制分析[J]. *生态科学*, 2018, 37(3): 96–106
GUO B, KONG W H, JIANG L, et al. Analysis of spatial and temporal changes and its driving mechanism of ecological vulnerability of alpine ecosystem in Qinghai Tibet Plateau[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(3): 96–106
- [5] CAO J J, ADAMOWSKI J F, DEO R C, et al. Grassland degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau: reevaluation of causative factors[J]. *Rangeland Ecology & Management*, 2019, 72(6): 988–995
- [6] DONG S K, SHANG Z H, GAO J X, et al. Enhancing sustainability of grassland ecosystems through ecological restoration and grazing management in an era of climate change on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2020, 287: 106684
- [7] 罗绒战堆. 藏族地区“惜杀惜售”问题的研究[J]. *西南民族大学学报(人文社科版)*, 2009, 30(11): 13–17
LUORONGZHANDUI. Research on the problem of “reluctant to kill and reluctant to sell” in Tibetan areas[J]. *Journal of Southwest University for Nationalities (Humanities and Social Science)*, 2009, 30(11): 13–17
- [8] 亏开兴, 廖祥龙, 钟绍丽, 等. 中甸牦牛季节性体重变化动态分析[J]. *草食家畜*, 2020(5): 10–15
YU K X, LIAO X L, ZHONG S L, et al. Dynamic analysis of seasonal body weight changes in Zhongdian yak[J]. *Grass-Feeding Livestock*, 2020(5): 10–15
- [9] 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021
China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021
- [10] YANG G, PENG C, CHEN H, et al. Qinghai-Tibetan Plateau peatland sustainable utilization under anthropogenic disturbances and climate change[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 2017, 3(3): e01263
- [11] WANG P, LASOIE J P, MORREALE S J, et al. A critical review of socioeconomic and natural factors in ecological degradation on the Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. *The Rangeland Journal*, 2015, 37(1): 1–9
- [12] 刘玉祯, 刘文亨, 杨晓霞, 等. 放牧家畜组合对高寒草地植物群落特征及生产力的影响[J/OL]. *生态学杂志*. [2023-02-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20220922.1415.022.html>.
LIU Y Z, LIU W T, YANG X X, et al. The effect of herbivore assemblage on plant community characteristics and aboveground net primary productivity in alpine grasslands[J/OL]. *Chinese Journal of Ecology*. [2023-02-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20220922.1415.022.html>.
- [13] CAI Z, SONG P, WANG J, et al. Grazing pressure index considering both wildlife and livestock in Three-River Headwaters, Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 143: 109338
- [14] WANG Y, LYU W, XUE K, et al. Grassland changes and adaptive management on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2022, 3(10): 668–683
- [15] 李重阳. 青藏高原牧户经营规模与生产效率研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2019
LI C Y. Study on the management scale and production efficiency of herdsmen in Qinghai-Tibet Plateau[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019
- [16] 王宏辉, 田发益, 李龙. 西藏传统文化观念对现代畜牧业的影响研究[J]. *湖北畜牧兽医*, 2016, 37(2): 49–51
WANG H H, TIAN F Y, LI L. A study on the influence of traditional Tibetan cultural concepts on modern animal husbandry[J]. *Hubei Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2016, 37(2): 49–51
- [17] 徐田伟, 赵新全, 张晓玲, 等. 青藏高原高寒地区生态草牧业可持续发展: 原理、技术与实践[J]. *生态学报*, 2020, 40(18): 6324–6337
XU T W, ZHAO X Q, ZHANG X L, et al. Sustainable development of ecological grass-based livestock husbandry in Qinghai-Tibet Plateau alpine area: principle, technology and practice[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(18): 6324–6337
- [18] SHANG Z H, GIBB M J, LEIBER F, et al. The sustainable development of grassland-livestock systems on the Tibetan plateau: problems, strategies and prospects[J]. *The Rangeland Journal*, 2014, 36(3): 267–296
- [19] 玛多简介[EB/OL]. 玛多县人民政府. [2022-10-19]. <http://www.maduo.gov.cn/html/2164/List.html>
Brief introduction of Maduo [EB/OL]. Maduo County People's Government. [2022-10-19]. <http://www.maduo.gov.cn/html/2164/List.html>
- [20] QIAN Q, WANG J B, ZHANG X J, et al. Improving herders' income through alpine grassland husbandry on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Land Use Policy*, 2022, 113: 105896
- [21] 苏日娜, 俎佳星, 金花, 等. 内蒙古草地生产力及载畜量变化分析[J]. *生态环境学报*, 2017, 26(4): 605–612
SURINA, ZU J X, JIN H, et al. Changes in grassland productivity and livestock carrying capacity in Inner Mongolia[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(4): 605–612
- [22] SUN Y F, FENG Y H, WANG Y P, et al. Field-based estimation of net primary productivity and its above- and below-ground partitioning in global grasslands[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2021, 126(11): e2021JG006472
- [23] 中华人民共和国农业部. 天然草地合理载畜量的计算: NY/T 635—2015[S]. 北京: 中国农业出版社, 2015
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China.

- Calculation of Rangeland Carrying Capacity: NY/T 635—2015[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2015
- [24] 郝力壮, 刘书杰, 吴克选, 等. 玛多县高山嵩草草地天然牧草营养评定与载畜量研究[J]. 中国草地学报, 2011, 33(1): 84–89
- HAO L Z, LIU S J, WU K X, et al. Study on the evaluation of grass nutrition and carrying capacity in alpine grassland of *Kobresia hastily* in Maduo County[J]. Chinese Journal of Grassland, 2011, 33(1): 84–89
- [25] CALVO B E, TANANBE K, KRANJC A, et al. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. Switzerland: IPCC, 2019
- [26] 徐长林, 徐彦花, 杨海磊. 祁连山东段高寒牧区牧事生产月令动态分析[J]. 草地学报, 2017, 25(1): 195–198
- XU C L, XU Y H, YANG H L. Research of the animal husbandry production activities characteristics in alpine area of eastern Qilian Mountains[J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(1): 195–198
- [27] CHEN D D, LI Q, LIU Z, et al. Variations of forage yield and nutrients with altitude gradients and their influencing factors in alpine meadow of Sanjiangyuan, China[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020, 20(4): 2164–2174
- [28] SUN Y F, CHANG J F, FANG J Y. Above- and belowground net-primary productivity: a field-based global database of grasslands[J]. Ecology, 2022, 104(2): e3904
- [29] 青海日报. 生态功能不断增强 草原生态持续向好 我省草原综合植被盖度达到57.4%[EB/OL]. 青海省统计局. [2022-10-19]. http://tjj.qinghai.gov.cn/snyw/202107/t20210721_254127.html
- Qinghai Daily. The ecological function has been continuously enhanced, and the grassland ecology has been continuously improved. The comprehensive vegetation coverage of grassland in our province has reached 57.4%[EB/OL]. Qinghai Provincial Bureau of Statistics. [2022-10-19]. http://tjj.qinghai.gov.cn/snyw/202107/t20210721_254127.html
- [30] 高婕, 赵新全, 刘文亭, 等. 基于供给-消耗关系的青海省高寒草地承载力时空变化分析[J]. 草业学报, 2023, 32(5): 1–12
- GAO J, ZHAO X Q, LIU W T, et al. Spatio-temporal analysis of alpine grassland carrying capacity in Qinghai Province considering supply-consumption relationship[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2023, 32(5): 1–12
- [31] 青海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021
- Qinghai Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2021
- [32] 汪诗平. 青海省“三江源”地区植被退化原因及其保护策略[J]. 草业学报, 2003, 12(6): 1–9
- WANG S P. Vegetation degradation and protection strategy in the “Three rivers fountainhead” area in the Qinghai Province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(6): 1–9
- [33] 颜景辰. 中国生态畜牧业发展战略研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007
- YAN J C. A research on the development strategy of ecological animal husbandry of China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007
- [34] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 青海三江源生态保护和建设二期工程规划[EB/OL]. [2022-10-19]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201404/t20140411_964092.html?code=&state=123
- National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Planning for the second phase of ecological protection and construction of the source region of the Yangtze River, Yellow River and Lancang River in Qinghai[EB/OL]. [2022-10-19]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201404/t20140411_964092.html?code=&state=123
- [35] 英俊翔. 影响母牛繁殖率的因素与提高措施[J]. 现代畜牧科技, 2022(2): 64–65
- YING J A. Factors affecting the reproductive rate of cows and measures to improve it[J]. Modern Animal Husbandry Science & Technology, 2022(2): 64–65
- [36] 熊本海, 杨亮, 杨琴, 等. 中国北方荷斯坦奶牛乳产量及乳成分变化的普适模型构建[J]. 畜牧兽医学报, 2014, 45(12): 1939–1948
- XIONG B H, YANG L, YANG Q, et al. Study on general lactation curve models and milk composition change models of Chinese Holstein cows in the north of China[J]. Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2014, 45(12): 1939–1948
- [37] 刘文辉, 贾志锋, 魏小星, 等. 青藏高原牧草种质资源保护利用研究[J]. 青海科技, 2017, 24(1): 32–35
- LIU W H, JIA Z F, WEI X X, et al. Study on protection and utilization of forage germplasm resources in Qinghai-Tibet Plateau[J]. Qinghai Science and Technology, 2017, 24(1): 32–35
- [38] FRATKIN E, MEARNES R. Sustainability and pastoral livelihoods: lessons from East African Maasai and Mongolia[J]. Human Organization, 2003, 62(2): 112–122
- [39] 徐田伟, 胡林勇, 赵娜, 等. 补饲燕麦青干草对牦牛和藏系绵羊冷季生长性能的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(1): 205–208
- XU T W, HU L Y, ZHAO N, et al. Effect of oats hay supplementing on growth performance of yaks and Tibetan sheep during cold season[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(1): 205–208
- [40] 魏克家, 李海萍, 王学江, 等. 柴达木盆地草地资源分布与发展草原畜牧业的探讨[J]. 四川草原, 2002(1): 10–15
- WEI K J, LI H P, WANG X J, et al. The distribution of grassland resources in Tsaidam Basin and the probe into its development of grassland and animal husbandry[J]. Journal of Sichuan Grassland, 2002(1): 10–15
- [41] 祁善虎. 青海省海东地区畜牧业发展存在的难题及发展对策[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2009(18): 38–40
- QI S H. Problems and development countermeasures of animal husbandry development in Haidong area of Qinghai Province[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2009(18): 38–40